



JAPANESE PATENT OFFICE

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number: 07098208

(43)Date of publication of application: 11.04.1995

(51)Int.Cl.

G01B 11/00
B25J 19/04
G01B 11/26
G05B 19/19

(21)Application number: 05242495

(71)Applicant:

NIPPONDENSO CO LTD

(22)Date of filing: 29.09.1993

(72)Inventor:

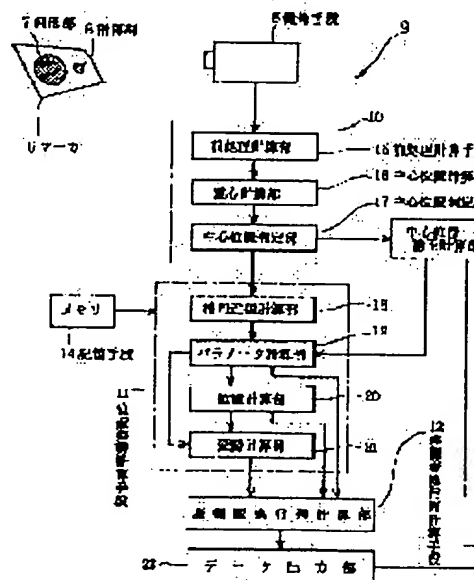
SAITO HIDEKI
SASAKI MIKIO
KANAYAMA YUKINORI

(54) METHOD AND SYSTEM FOR RECOGNIZING THREE-DIMENSIONAL POSITION AND ATTITUDE ON THE BASIS OF SENSE OF SIGHT

(57)Abstract:

PURPOSE: To robustly recognize the position and attitude at a high speed and with high accuracy by diagonally sensing a plane marker by a sensing means and performing a simple image processing.

CONSTITUTION: A large circular part 7 and a small circular part 8 are displayed on a plane marker 6. A three-dimensional recognition system 9 consists of an image processing part 10, a position/attitude calculation part 11, etc. The marker 6 is sensed diagonally by a CCD camera 5, and the center of gravity of the elliptic part 7 is obtained based on the image data, then, when it is out of the central position of a sensing screen, a central position correction calculating part 13 calculates the rotational angle for the camera and rotates the camera 5. Further, an elliptic approximation calculation is carried out by using a minimum square estimation in order to obtain its parameter and calculate the position and attitude of the camera 5, and then a coordinate conversion matrix is calculated based on the obtained result. Thus, the image processing for the marker 6 can be performed simply and at the same time its position and attitude can be recognized robustly, at a high speed and with high accuracy.



LEGAL STATUS

[Kind of final disposal or application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C) 1998 Japanese Patent Office

MENU

SEARCH

INDEX

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平7-98208

(43)公開日 平成7年(1995)4月11日

(51)Int.Cl. ⁸	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 1 B 11/00		H		
B 2 5 J 19/04				
G 0 1 B 11/26		H		
G 0 5 B 19/19		H 9064-3H		

審査請求 未請求 請求項の数2 O L (全 20 頁)

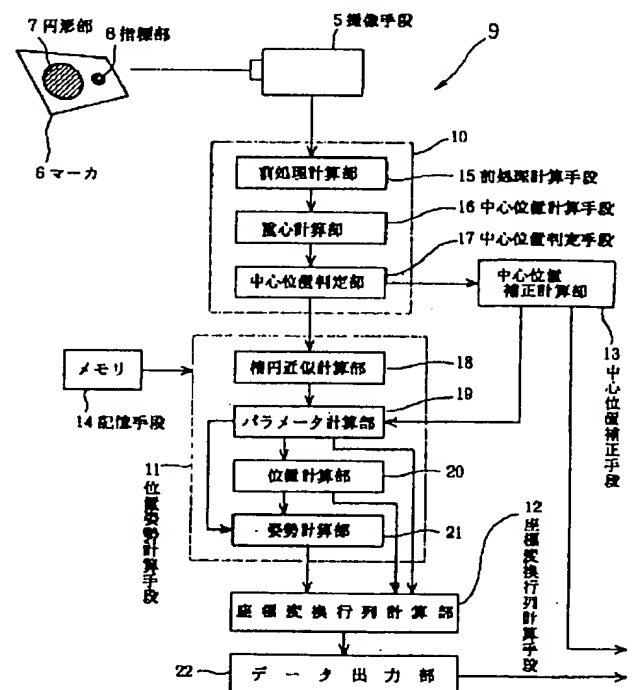
(21)出願番号	特願平5-242495	(71)出願人	000004260 日本電装株式会社 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地
(22)出願日	平成5年(1993)9月29日	(72)発明者	斉藤 英樹 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 日本電装株式会社内
		(72)発明者	笹木 美樹男 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 日本電装株式会社内
		(72)発明者	金山 幸礼 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地 日本電装株式会社内
		(74)代理人	弁理士 佐藤 強

(54)【発明の名称】 視覚に基く三次元位置および姿勢の認識方法ならびに視覚に基く三次元位置および姿勢の認識装置

(57)【要約】

【目的】 平面マーカを撮像手段により斜方向から撮影し、簡単な画像処理を実施するだけで、高速、高精度且つロバストに位置姿勢認識を行う。

【構成】 平面状のマーカ6には大円部7、小円部8が表示される。三次元位置認識装置9は、画像処理部10、位置姿勢計算部11などから構成される。CCDカメラ5で斜方向からマーカ6を撮影すると、その画像データに基づいて楕円形状の大円部7の重心位置を求め、撮影画面の中心位置からずれているときには中心位置補正計算部13によりカメラ5の回転角度を計算して回動させる。次に、楕円近似計算を最小二乗推定法により計算してそのパラメータを求めてカメラ5の位置姿勢を計算し、この結果に基づいて座標変換行列を計算する。マーカ6の画像処理が簡単になると共に、高速且つ高精度でロバストに位置姿勢を認識できる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 所定の直径寸法を有する円形部およびこの円形部と特定の位置関係にある指標部からなりそれら円形部および指標部のそれぞれを背景部分と異なる濃淡情報あるいは色情報により平面上に表示されたマーカを備え、このマーカを撮像手段により撮影したときの画像データに基づいて以下(a)～(f)の処理ステップを実行することを特徴とした視覚に基く三次元位置および姿勢の認識方法。

(a) 前記撮像手段からの画像データを二値化されたデジタル画像データに変換する前処理計算処理ステップ、

(b) 前記デジタル画像データに基づいて前記マーカの円形部の中心位置を計算する中心位置計算処理ステップ、

(c) 前記撮像手段の撮影視野中心位置と前記マーカの円形部の中心位置との間の中心間距離を計算してその値が設定誤差値以内であるか否かを判定する中心位置判定処理ステップ、

(d) 前記中心間距離が前記設定誤差値よりも大きいときに、その中心間距離の値が前記設定誤差値以内となるように前記撮像手段の撮像姿勢を変更するための回転パラメータを前記マーカの円形部の中心位置のデータに基づいて計算する中心位置補正処理ステップ、

(e) 前記中心間距離の値が前記設定誤差値以内であるときに、あらかじめ記憶された前記マーカの形状寸法を示すマーカデータと前記マーカのデジタル画像データとに基づいて、最小二乗推定法により前記円形部の輪郭抽出点の楕円近似計算を行うと共に前記指標部との傾き角度の計算を行い、前記マーカに対する前記撮像手段の位置姿勢を示す各種パラメータを計算する位置姿勢計算処理ステップ、

(f) この位置姿勢計算処理ステップにおける前記撮像手段の位置姿勢を示すパラメータ計算結果に基づいて、前記撮像手段の基準座標系から見た前記マーカの位置姿勢を表す座標変換行列を計算する座標変換行列計算処理ステップ。

【請求項2】 所定の直径寸法を有する円形部およびこの円形部と特定の位置関係にある指標部からなりそれら円形部および指標部のそれぞれを背景部分と異なる濃淡情報あるいは色情報により平面上に表示されたマーカと、

撮影画像の画像データを出力する撮像手段と、

前記マーカの形状寸法を示すマーカデータが記憶された記憶手段と、

この撮像手段からの画像データを二値化されたデジタル画像データに変換する前処理計算手段と、

前記デジタル画像データに基づいて前記マーカの円形部の中心位置を計算する中心位置計算手段と、

前記撮像手段の撮影視野中心位置と前記マーカの円形部の中心位置との間の中心間距離を計算してその値が設定

誤差値以内であるか否かを判定する中心位置判定手段と、

前記中心間距離が前記設定誤差値よりも大きいときに、その中心間距離の値が前記設定誤差値以内となるように前記撮像手段の撮像姿勢を変更するための回転パラメータを前記マーカの円形部の中心位置のデータに基づいて計算する中心位置補正手段と、

前記中心間距離の値が前記設定誤差値以内であるときに、前記記憶手段に記憶された前記マーカデータと前記マーカのデジタル画像データとに基づいて、最小二乗推定法により前記円形部の輪郭抽出点の楕円近似計算を行うと共に前記指標部との傾き角度の計算を行い、前記マーカに対する前記撮像手段の位置姿勢を示す各種パラメータを計算する位置姿勢計算手段と、

この位置姿勢計算手段による前記撮像手段の位置姿勢を示すパラメータ計算結果に基づいて、前記撮像手段の基準座標系から見た前記マーカの位置姿勢を表す座標変換行列を計算する座標変換行列計算手段とを有する構成としたことを特徴とする視覚に基く三次元位置および姿勢の認識装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、単眼視カメラにより撮影した画像情報に基づいてその単眼視カメラの三次元位置および姿勢を認識するようにした視覚に基く三次元位置および姿勢の認識方法とその装置に関する。

【0002】

【従来の技術】 近年、例えば、自律移動ロボット等のように、形状および絶対座標位置が既知である対象物体に対して接近するように移動し、ロボットハンドの先端に設けたマニピュレータにより対象物体を把持するといった能動的操作を行うようにしたものがある。このような自律移動ロボット等においては、CCDカメラなどの撮像手段を搭載してその二次元的な画像情報に基いて対象物体に対する自己の三次元的な相対位置を認識することが必要になる。この場合、位置認識を行うための装置においては、高精度且つ迅速に計算を行って三次元的な位置のデータを求めることが要求され、しかも安価に実現できる構成が望まれている。

【0003】 そこで、従来では、比較的簡単なものとして、例えば、特開平3-166072号公報あるいは特開平3-166073号公報に示されるようなものが考えられている。すなわち、これらにおいては、対象装置に固定された形状および寸法が既知の特殊な幾何学形状（マーカと呼ぶ）をカメラにより撮影し、そのマーカの二次元的な画像情報に基いて、その重心位置を計算する等の方法により対象装置に対するCCDカメラの相対的な三次元の位置関係を求め、これに基づいてロボットハンドを移動制御するようにしたものである。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上述のような従来構成のものでは、CCDカメラによるマーカの撮影を、CCDカメラの光軸に対する垂直面内にマーカ表示面が位置するようにCCDカメラを移動させて行うようにしており、マーカの撮影画面がマーカ表示面の二次元的な相対位置と1対1の対応関係となるようにする必要があるので、次のような実用上の不具合がある。

【0005】すなわち、例えば、対象物を把持するためのロボットハンドにカメラを取り付けていると、対象物の近傍に配置されたマーカを垂直方向から撮影するためにロボットハンドを適切な位置まで移動させる必要があるが、このとき、ロボットハンド先端のマニピュレータが物品の把持状態にある場合などにおいては、その移動範囲に制約を受けることになる。

【0006】また、CCDカメラによりマーカを視野内に入るように移動させるために、マーカの設置領域が狭いと、ロボットハンドがその作業環境と接触して互いに損傷を与える不具合が生ずるため、マーカの設置領域をロボットハンドが十分に移動可能となるような作業環境にする必要があり、作業環境に大きく制約を与えることになるという不具合がある。

【0007】ところが、従来、このような不具合を解消すべく、マーカから斜方向に離れた位置から撮影することにより、カメラの位置姿勢を高速且つ高精度でロバスト（ロバストとは、一般的に、処理や認識の結果がノイズや環境条件の変動によってあまり影響を受けないことを定性的に示すことばとして用いられている。）に認識できるものがなかった。

【0008】本発明は、上記事情に鑑みてなされたもので、その目的は、撮像手段により平面マーカを撮影して三次元位置を認識するときに、平面マーカに対して撮像手段を垂直方向に対向させることなく、斜方向から撮影した画像情報に基づいて、簡単な画像処理を実施するだけで、高速且つ高精度でしかもロバストな位置姿勢認識を行うことができるようにした視覚に基く三次元位置および姿勢の認識方法およびその装置を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】本発明の視覚に基く三次元位置および姿勢の認識方法は、所定の直径寸法を有する円形部およびこの円形部と特定の位置関係にある指標部からなりそれら円形部および指標部のそれぞれを背景部分と異なる濃淡情報あるいは色情報により平面上に表示されたマーカを備え、前記撮像手段からの画像データを二値化されたデジタル画像データに変換する前処理計算処理ステップと、前記デジタル画像データに基づいて前記マーカの円形部の中心位置を計算する中心位置計算処理ステップと、前記撮像手段の撮影視野中心位置と前記マーカの円形部の中心位置との間の中心間距離を計算してその値が設定誤差値以内であるか否かを判定する中

心位置判定処理ステップと、前記中心間距離が前記設定誤差値よりも大きいときに、その中心間距離の値が前記設定誤差値以内となるように前記撮像手段の撮像姿勢を変更するための回転パラメータを前記マーカの円形部の中心位置のデータに基づいて計算する中心位置補正処理ステップと、前記中心間距離の値が前記設定誤差値以内であるときに、あらかじめ記憶された前記マーカの形状寸法を示すマーカデータと前記マーカのデジタル画像データとに基づいて、最小二乗推定法により前記円形部の輪郭抽出点の楕円近似計算を行うと共に前記指標部との傾き角度の計算を行い、前記マーカに対する前記撮像手段の位置姿勢を示す各種パラメータを計算する位置姿勢計算処理ステップと、この位置姿勢計算処理ステップにおける前記撮像手段の位置姿勢を示すパラメータ計算結果に基づいて、前記撮像手段の基準座標系から見た前記マーカの位置姿勢を表す座標変換行列を計算する座標変換行列計算処理ステップとを実行することにより、前記マーカに対する撮像手段の三次元位置姿勢を認識するようにしたところに特徴を有する。

【0010】また、本発明の視覚に基く三次元位置および姿勢の認識装置は、所定の直径寸法を有する円形部およびこの円形部と特定の位置関係にある指標部からなりそれら円形部および指標部のそれぞれを背景部分と異なる濃淡情報あるいは色情報により平面上に表示されたマーカと、撮影画像の画像データを出力する撮像手段と、前記マーカの形状寸法を示すマーカデータが記憶された記憶手段と、この撮像手段からの画像データを二値化されたデジタル画像データに変換する前処理計算手段と、前記デジタル画像データに基づいて前記マーカの円形部の中心位置を計算する中心位置計算手段と、前記撮像手段の撮影視野中心位置と前記マーカの円形部の中心位置との間の中心間距離を計算してその値が設定誤差値以内であるか否かを判定する中心位置判定手段と、前記中心間距離が前記設定誤差値よりも大きいときに、その中心間距離の値が前記設定誤差値以内となるように前記撮像手段の撮像姿勢を変更するための回転パラメータを前記マーカの円形部の中心位置のデータに基づいて計算する中心位置補正手段と、前記中心間距離の値が前記設定誤差値以内であるときに、前記記憶手段に記憶された前記マーカデータと前記マーカのデジタル画像データとに基づいて、最小二乗推定法により前記円形部の輪郭抽出点の楕円近似計算を行うと共に前記指標部との傾き角度の計算を行い、前記マーカに対する前記撮像手段の位置姿勢を示す各種パラメータを計算する位置姿勢計算手段と、この位置姿勢計算手段による前記撮像手段の位置姿勢を示すパラメータ計算結果に基づいて、前記撮像手段の基準座標系から見た前記マーカの位置姿勢を表す座標変換行列を計算する座標変換行列計算手段とを設けて構成したところに特徴を有する。

【0011】

【作用】請求項 1 記載の視覚に基く三次元位置および姿勢の認識方法によれば、マーカに対して三次元空間の斜方向に位置する撮像手段によりそのマーカを撮影したときに、以下のように各処理ステップを実行することにより、マーカに対する撮像手段の三次元位置および姿勢を認識することができるようになる。

【0012】すなわち、まず、撮像手段により撮影されたマーカの画像データは、前処理計算処理ステップにおいて、二値化されたデジタル画像データに変換され、続いて中心位置計算処理ステップにおいて、マーカの円形部の中心位置を重心等の近似計算により求められる。この場合、撮像手段はマーカに対して斜方向から撮影しているため、撮像手段の光軸に垂直な面から傾く程、撮影画面中におけるマーカの円形部の形状は偏平した楕円形状になる。

【0013】次に、中心位置判定処理ステップにおいて、撮像手段の撮影視野中心位置とマーカの円形部の中心位置との間の中心間距離が計算され、その値が設定誤差値以内であるか否かが判定されるようになる。

【0014】このとき、その中心間距離が設定誤差値よりも大きいときには、中心位置補正処理ステップにおいて、その中心間距離の値が前記設定誤差値以内となるように撮像手段の撮像姿勢を変更するための回転パラメータをマーカの円形部の中心位置のデータに基づいて計算されるようになる。そして、計算されたその回転パラメータに対応した撮影姿勢に撮像手段を回転移動すれば、マーカを撮影する撮像手段の撮影視野中心位置に円形部の中心位置が略一致するように移動させることができるようになる。

【0015】この後、再び、前述の中心位置計算処理ステップおよび中心位置判定処理ステップを実行すると、撮像手段の撮影視野中心位置とマーカの円形部の中心位置との間の中心間距離が設定誤差値以内にはいるようになったことが判定されるようになる。

【0016】そして、中心間距離の値が設定誤差値以内であるときには、位置姿勢計算処理ステップにおいて、あらかじめ記憶されたマーカの形状寸法を示すマーカデータとマーカのデジタル画像データとに基づいて、最小二乗推定法により前記円形部の輪郭抽出点の楕円近似計算が行われると共にその円形部とマーカの指標部との傾き角度の計算が行われ、マーカに対する撮像手段の位置姿勢を示す各種パラメータが計算されるようになる。

【0017】すると、座標変換行列計算処理ステップにおいて、上述の位置姿勢計算処理ステップにおける撮像手段の位置姿勢を示すパラメータ計算結果に基づいて、撮像手段の基準座標系から見たマーカの位置姿勢を表す座標変換行列が計算され、撮像手段の三次元位置および姿勢が認識されるようになる。

【0018】これにより、撮像手段によりマーカを斜方向から撮影したときの画像データに基づいて撮像手段の

三次元位置および姿勢が認識でき、この場合に、マーカの円形部に対する簡単な計算処理を実行するだけで良いので、高速且つ高精度で認識できると共に、ロバストな処理結果を得ることができるようになる。

【0019】請求項 2 記載の視覚に基く三次元位置および姿勢の認識装置によれば、マーカに対して三次元空間の斜方向に位置する撮像手段によりそのマーカを撮影すると、以下のように各手段において処理を実行することにより、マーカに対する撮像手段の三次元位置および姿勢を認識することができるようになる。

【0020】すなわち、まず、撮像手段により撮影されたマーカの画像データは、前処理計算手段により、二値化されたデジタル画像データに変換され、続いて中心位置計算手段により、そのデジタル画像データに基づいてマーカの円形部の中心位置が重心等の計算により求められる。次に、中心位置判定手段により、撮像手段の撮影視野中心位置とマーカの円形部の中心位置との間の中心間距離が計算され、その値が設定誤差値以内であるか否かが判定されるようになる。

【0021】そして、その中心間距離が設定誤差値よりも大きいときには、中心位置補正手段により、その中心間距離の値が前記設定誤差値以内となるように撮像手段の撮像姿勢を変更するための回転パラメータをマーカの円形部の中心位置のデータに基づいて計算されるようになる。そして、計算されたその回転パラメータに対応した撮影姿勢に撮像手段を回転移動すれば、マーカを撮影する撮像手段の撮影視野中心位置に円形部の中心位置が略一致するように移動させることができるようになる。

【0022】この後、再び、前述の中心位置計算手段および中心位置判定手段により計算処理を実行すると、撮像手段の撮影視野中心位置とマーカの円形部の中心位置との間の中心間距離が設定誤差値以内にはいるようになったことが判定されるようになる。

【0023】そして、中心間距離の値が設定誤差値以内であるときには、位置姿勢計算手段により、記憶手段に記憶されているマーカの形状寸法を示すマーカデータとマーカのデジタル画像データとに基づいて、最小二乗推定法により前記円形部の輪郭抽出点の楕円近似計算が行われると共にその円形部とマーカの指標部との傾き角度の計算が行われ、マーカに対する撮像手段の位置姿勢を示す各種パラメータが計算されるようになる。

【0024】次に、座標変換行列計算手段により、上述の位置姿勢計算手段による撮像手段の位置姿勢を示すパラメータ計算結果に基づいて、撮像手段の基準座標系から見たマーカの位置姿勢を表す座標変換行列が計算され、この結果、撮像手段の三次元位置および姿勢が認識されるようになる。

【0025】これにより、撮像手段によりマーカを斜方向から撮影した画像データに基づいて撮像手段の三次元位置および姿勢が認識でき、この場合において、マーカ

の円形部に対する簡単な計算処理を実行するだけで良いので、高速且つ高精度で認識できると共に、ロバストな処理結果を得ることができるようになるのである。

【0026】

【実施例】以下、本発明を工場内などの軌道上を走行する自律移動ロボットに搭載する三次元位置認識装置に適用した場合の第1の実施例について図1ないし図13を参照しながら説明する。全体構成の概略を示す図2において、自律走行ロボット（図示せず）は、工場内などの軌道上を走行して所定の作業位置で停止して、本体上部に取り付けられたロボットハンド1により対象物を把持したり載置したりするなどの作業を行うものであり、センサの検出信号や外部情報に基づいて所定の停止位置に停止するようになっている。

【0027】ロボットハンド1は、自律走行ロボットの本体上部に回動可能に保持されたアーム部2とこのアーム部2の先端に回動可能に設けられたヘッド部3から構成され、このヘッド部3に対象物を把持するためのマニピュレータ4が設けられている。そして、ロボットハンド1は、図示しない制御装置からの制御信号に応じてアーム部2、ヘッド部3およびマニピュレータ4が駆動制御されるようになっている。

【0028】この場合、アーム部2は、基端部2aにおいて垂直方向の軸を回転軸として水平面内で回動可能とされ、中間部に設けられた関節2bにおいて水平方向の軸を回転軸として垂直面内で回動可能とされている。また、アーム部2の先端部に取り付けられたヘッド部3は、水平方向の軸を回転軸として垂直面内で回動可能とされ、ヘッド部3の上下方向の軸を回転軸として回動可能とされると共に、ヘッド部3の突出方向の軸を回転軸として振じる方向に回動可能とされている。

【0029】また、このヘッド部3の上部には、マニピュレータ4の動作に支障を来さない位置に撮像手段としての小形のCCDカメラ5が取り付けられており、そのヘッド部3と共に移動制御されるようになっている。そして、このCCDカメラ5により撮影された画像データに基づいて、後述するようにして、CCDカメラ5の位置と姿勢が計算により求められると、その結果に応じて制御装置によりロボットハンド1の動作が駆動制御されるようになっている。

【0030】マニピュレータ4により作業する位置には、対象物との位置関係があらかじめ決められた関係で配置されたマーカ6が配設されている。このマーカ6は、図3に示すように、例えば、長形状をなす白地の背景部分に所定半径で描かれた黒色の大円部7と小円部8からなる。この場合、大円部7は円形部として、小円部8は指標部として機能するものであり、小円部8は大円部7の中心位置に対して対象物との方向関係を示す位置に配置されている。

【0031】さて、三次元位置認識装置9は、具体的に

は、例えば全体の計算制御を実行させるコンピュータ等から構成されるもので、その内部の機能的なブロック構成は図1に示すように構成されている。すなわち、図1において、三次元位置認識装置9の全体は、概略構成として、画像処理部10、位置姿勢計算手段としての位置姿勢計算部11、座標変換行列計算手段としての座標変換行列計算部12、中心位置補正手段としての中心位置補正部13および記憶手段としてのメモリ14から構成されており、それぞれは、後述するフローチャートの流れに従って計算処理が実行されるようになっている。

【0032】そして、画像処理部10は、前処理計算手段としての前処理計算部15、中心位置計算手段としての重心計算部16および中心位置判定手段としての中心位置判定部17から構成される。前処理計算部15は、CCDカメラ5が撮影したマーカ6の画像データを二値化したデジタル画像データとして出力する。重心計算部16は、前処理計算部15から与えられるデジタル画像データから楕円形状に撮影されているマーカ6の大円部7の撮影画面上での重心位置を計算して求めて大円部7の中心位置データとして出力する。そして、中心位置判定部17は、大円部7の中心位置データとCCDカメラ5の撮影画面の中心位置のデータとの間の距離を中心間距離として計算し、その中心間距離があらかじめ設定された設定誤差値 δ 以内であるか否かを判定してその判定結果を出力する。

【0033】位置姿勢計算部11は、楕円近似計算部18、パラメータ計算部19、位置計算部20および姿勢計算部21から構成されている。楕円近似計算部18は、前述の前処理計算部15にて出力されたデジタル画像データに基づいて、後述するようにして輪郭抽出点であるエッジデータを求め、そのエッジデータをもとにして最小二乗推定法を使って楕円近似計算を行う。パラメータ計算部19は、楕円近似計算により求められた楕円の各パラメータとメモリ14内にあらかじめ記憶されているマーカ6の形状寸法等を示すマーカデータとから、CCDカメラ5に対する実際のマーカ6の位置関係を示す各種パラメータを計算により求める。位置計算部20は、上述の各種計算結果に基づいて、CCDカメラ5から見たマーカ6の大円部7の中心位置を計算により求める。また、姿勢計算部21は、同様にしてマーカ6の姿勢を基準座標に対するデータとして計算する。

【0034】なお、メモリ14は、マーカ6の形状寸法等を示すマーカデータが記憶されると共に、CCDカメラ5の撮影画角やアスペクト比（画面の縦横の比率）などの、あらかじめわかっている情報が記憶されている。そして、座標変換行列部12は、上述のようにして求められたマーカ6の位置姿勢を表すデータから、CCDカメラ5の座標系を基準としたマーカ6の位置姿勢を表す座標変換行列を計算して求めるようになっており、その計算結果を、データ出力部22を介して自律移動ロボッ

トの動作を制御する制御装置等に与えるようになっている。

【0035】また、中心位置補正計算部13は、前述の中心位置判定部17において、中心間距離が設定誤差値 δ よりも大きいと判断されたときに、マーカ6の大円部7の中心位置がCCDカメラ5の撮影画面の中心位置にくるようにCCDカメラ5を回転移動させるための回転角度を計算し、ロボットハンド1の制御装置に制御データを与えてCCDカメラ5を駆動制御するようになっている。

【0036】次に、本実施例の作用について、図4ないし図13をも参照し、以下、各処理ステップに対応して順次説明する。まず、自律走行ロボットは、作業位置近傍に近付くと、別途に設けられたセンサ等により所定の停止領域内に停止され、その位置でCCDカメラ5によりマーカ6の撮影を行なうようあらかじめティーチングされている。これにより、CCDカメラ5の撮影視野内にマーカ6の全体像が取り込まれるようになっている。すると、三次元位置認識装置8は、図4に示す認識プログラムの流れを示すフローチャートにしたがって三次元位置姿勢の認識を行うための処理ステップを実行するようになる。

【0037】この場合、CCDカメラ5は、マーカ6を離れた位置から斜方向に見るようにして撮影するのが一般的であるので、CCDカメラ5により撮影されるマーカ6の大円部7および小円部8の形状は、撮影画面上においては楕円形状をなす図形として投影されている。

【0038】(a) 前処理計算処理ステップ(S1, S2)

さて、まず、前処理計算部15は、ステップS1にて、CCDカメラ5が撮影した画像の画像データを入力する。続いてステップS2にて、前処理計算部15は、前処理計算を実行するようになる。この前処理計算においては、CCDカメラ5から入力した画像データを所定のしきい値で二値化することにより、明暗を示すアナログデータを「1」、「0」などの二値化されたデジタル画像データに変換して出力するようになる。

【0039】これにより、マーカ6に黒色で描かれた大円部7および小円部8に該当する位置のデジタル画像データと白地の背景部分に該当する位置のデジタル画像データとが、それぞれ「1」および「0」のいずれかのデジタル画像データとして識別されるようになる。

【0040】(b) 中心位置計算処理ステップ(S3)
この後、ステップS3において、重心計算部16は、撮影画面上でのマーカ6の大円部7に対応するデジタル画像データを識別し、続いて識別された大円部7のデジタル画像データの分布状態からその重心位置の座標を計算により求める。この場合に、求められた重心位置の座標は、楕円形状に撮影されている大円部7の実際の中心位置に対応する撮影画面上での座標点とは完全には一致し

ないが、概略的に大円部7の中心位置座標 P_a としている。

【0041】これは、CCDカメラ5の光軸を垂直に横切る面からマーカ6の表面が傾いた位置になる程、撮影画面上における楕円形状の重心位置と大円部7の中心位置とがずれるからであり、後述する位置姿勢の認識時においては、この誤差をできるだけ少なくすべく、補正の計算を実施している。

【0042】(c) 中心位置判定処理ステップ(S4)
次に、ステップS4に進むと、中心位置判定部17において、いま計算した大円部7の中心位置座標 P_a (p_x, p_y)と撮影画面の中心位置座標 O (0, 0)との間の距離を計算して中心間距離 D_p として記憶し、その中心間距離 D_p の値が所定誤差値 δ 以下であるか否かを判定するようになる。

【0043】これは、撮影したマーカ6の大円部7が撮影画面上においてその中心位置 P_a が撮影画面の中心位置 O の近傍に存在しているか否かを判定するもので、「NO」と判断された場合にはステップS5に進み、後述するように、大円部7の中心位置 P_a が撮影画面の中心位置 O に近付くようにCCDカメラ5の姿勢が制御されるようになっている。

【0044】(d) 中心位置補正処理ステップ(S5, S6)

すなわち、ステップS5においては、中心位置補正計算部13により、上述のマーカ6の大円部7の中心位置 P_a (p_x, p_y)の座標データから、次のようにしてCCDカメラ5の修正データを計算するようになる。

【0045】いま、CCDカメラ5により撮影されている画面が、図5(a)に示すような状態にある場合を例にとって説明する。この場合、マーカ6の大円部7の中心位置 P_a (p_x, p_y)は、撮影画面の中心位置 O の右上(第1象限)に存在しており、撮影画面とCCDカメラ5の視点 V とは、同図(b)に示すような配置関係となっている。

【0046】ここで、CCDカメラ5の光軸方向を Y 軸、光軸に垂直な面内の上方を Z 軸、光軸に垂直な面内の光軸方向を向いて右方向を X 軸とすると、CCDカメラ5の視点の位置をそのままの状態に保持しながら、図6に示すように、光軸を Z 軸回りに回転させて撮影画面上における大円部7の中心位置 P_a を X 軸方向に p_x に相当する距離だけ移動させると共に、光軸を X 軸回りに回転させて撮影画面上における大円部7の中心位置 P_a を Y 軸方向に p_y に相当する距離だけ移動させれば、大円部7の中心位置 P_a が撮影画面上の中心位置 O に移動させることができる。

【0047】そこで、上述の回転移動制御における、 Z 軸周りの回転角度および X 軸周りの回転角度をそれぞれ補正角度 D_1 、 D_2 とにおいて、以下のようにしてCCDカメラ5の光軸を大円部7の中心位置 P に回転移動させ

るための変換行列 $T_{o/p}$ を求め、ステップ S6において、ロボットハンド1の制御装置に制御信号として与えるようになる。

【0048】すなわち、まず、CCDカメラ5による撮影視野を表す横方向および縦方向に対する中心位置Oからの画角G1およびG2と、CCDカメラ5の撮影画面上における水平方向寸法PHおよび垂直方向寸法PVは既知データであるから、補正角度D1およびD2を以下のようにして求めることができる。

【0049】CCDカメラ5と撮影画面との間の距離を

$$\tan G1 = \frac{PH}{2f} \quad \cdots \cdots (1)$$

$$\tan G2 = \frac{PV}{2f} \quad \cdots \cdots (2)$$

$$\tan D1 = \frac{px}{f} \quad \cdots \cdots (3)$$

$$\tan D2 = \frac{py}{f} \quad \cdots \cdots (4)$$

$$\tan D1 = \frac{2px \cdot \tan G1}{PH} \quad \cdots \cdots (5)$$

$$\tan D2 = \frac{2py \cdot \tan G2}{PV} \quad \cdots \cdots (6)$$

【0051】ところで、このように補正角度D1およびD2で回転する場合に、実際には、例えば、初めにZ軸周りにCCDカメラ5の光軸を補正角度D1だけ回転させると、回転する前に撮影画面上に対応して位置している大円部7の中心位置Paは、回転した後の撮影画面上よりも遠い位置に来るので、回転した後の撮影画面上に投影したときの中心位置Paのy座標値pyを補正する必要がある。

【0052】このような点を考慮すると、いま、CCD

$$(0, -\tan D2, 1)$$

$$(\tan D1, 1, \tan D2)$$

$$(1 + \tan^2 D2, -\tan D1, -\tan D1 \cdot \tan D2) \quad \cdots \cdots (9)$$

【0054】したがって、以上式(7)ないし(9)のように得られた各ベクトルから、CCDカメラ5を大円部7の中心位置座標Pa点に移動するときの座標変換行

仮にfとおくと、 $\tan G1$ および $\tan G2$ は、下に示す式(1)、(2)のように表すことができる。また、 $\tan D1$ および $\tan D2$ は、下に示す式(3)、(4)のように表すことができるから、式(1)、(2)から距離fの値をそれぞれ求めて式(3)、(4)に代入すると、 $\tan D1$ および $\tan D2$ は、式(5)、(6)のように表すことができるようになる。

【0050】

【数1】

カメラ5の視線方向を図6中に示すA点に向けたときにCCDカメラ5の上方ベクトルは、式(7)のようになる。次に、CCDカメラ5の視線ベクトルを大円部7の中心位置座標の点Paに向けるのでその方向ベクトルは式(8)のようになる。また、これらの基準ベクトルの外積を行うことにより得られるベクトルは式(9)のようになる。

【0053】

【数2】

$$\cdots \cdots (7)$$

$$\cdots \cdots (8)$$

列 $T_{o/p}$ は、式(10)のように得られる。

【0055】

【数3】

$$T_{o/p} = \begin{bmatrix} \frac{1 + \tan^2 D2}{AB} & \frac{\tan D1}{A} & 0 & 0 \\ \frac{-\tan D1}{AB} & \frac{1}{A} & \frac{-\tan D2}{B} & 0 \\ \frac{-\tan D1 \tan D2}{AB} & \frac{\tan D2}{A} & \frac{1}{B} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{..... (10)}$$

$$\text{ただし } A = \sqrt{1 + \tan^2 D1 + \tan^2 D2}$$

$$B = \sqrt{1 + \tan^2 D2}$$

【0056】そして、このようにしてCCDカメラ5の光軸を大円部7の中心位置Paに回転移動させる姿勢制御が行われると、再び、上述の計算処理ステップS1ないしS4を繰り返し実行し、前述の中心間距離Dpの値が誤差値δ以下になったときに、ステップS7に移行するようになる。

【0057】(e) 位置姿勢計算処理ステップ(S7～S10)

この状態では、マーカ6の大円部7の中心位置Paとして求めた重心位置が、撮影画面の中心位置Oに一致している状態となっているので、大円部7の真の中心位置Paがほぼ一致しているとみなして以下に示すような位置姿勢の計算処理を実行するようになる。

【0058】すなわち、まず、ステップS7に進むと、楕円近似計算部18にて、マーカ6のデジタル画像データに基づいて大円部7のエッジデータを抽出し、続いて、抽出されたエッジデータに基づいて最小二乗推定法により楕円近似計算を行い、撮影画面上において楕円形状をなしている大円部7のパラメータを計算する。

【0059】図7はエッジデータの抽出処理過程を説明するためのもので、図8はそのフローチャートを示している。デジタル画像データは、撮影画面上に二次元的に配列されたデータとして記憶されているので、データ検索の走査ラインを左から右へ向かう方向に設定し、その走査ラインを下方に所定間隔だけ移動させて順次走査していく。

【0060】まず、データ検索のための走査を開始すると、デジタル画像データを取り込み(ステップT1)、取り込んだデジタル画像データの変化幅が一定値を超えているか否かを判断する(ステップT2)。「NO」と判断されたときには、走査ラインが終了するまでの間、ステップT3を経て、ステップT1ないしT3を繰り返し実行する。走査ラインが終了してステップT3で「YES」と判断されたときには、ステップT4を経てステップT5に進み、走査ラインを所定間隔だけ移動させ、

以下、上述のステップを繰り返す。

【0061】そして、ステップT2で「YES」と判断されたときには、ステップT6に進み、データの変化幅が一定値を超えない区間でそのデジタル画像データの対応する位置を記憶し(ステップT7)、変化幅が一定値を超えると再びステップT3に戻り、以下、上述のステップを繰り返すことにより、大円部7のエッジデータを抽出し、すべてのデジタル画像データについて検索が終了すると、ステップT4で「YES」と判断して走査を終了する。

【0062】このようにして、楕円形状をなす大円部7のエッジデータが抽出されると、次に、これらのエッジデータに基づいて最小二乗推定法により楕円近似計算を実行して楕円の方程式を得る。なお、このとき用いる最小二乗推定法については、本実施例の説明の後の付録に詳述しており、その導出過程については後述の文献を参照している。

【0063】さて、このようにして求められた大円部7に相当する撮影画面上における楕円の方程式から、ステップS8において、パラメータ計算部19において、楕円の長軸寸法aおよび短軸寸法bを求めると共に、その楕円の傾き角度αを計算により求める。なお、この計算過程については、最小二乗推定法による導出過程を示す付録の中に示している。

【0064】図9はCCDカメラ5の撮影画面上に投影されたマーカ6の画像を示しており、楕円形状をなす大円部7の中心位置Paは撮影画面の中心位置Oに一致している状態である。そして、大円部7に対応する楕円形状はその長軸aおよび短軸bが撮影画面上の座標軸に対して中心位置Oを回転中心として傾き角度αだけ左方向に回転された状態となっている。この状態で、大円部7の長軸aはほぼ撮影画面と平行な面内に存在していると考えられるので、撮影画面上における長軸aの寸法は、マーカ6の傾きに関係なく、CCDカメラ5とマーカ6の大円部7までの距離dに応じたデータとな

る。

【0065】そして、ステップS9に進むと、位置計算部20において、前述の前処理計算部15にて求められている小円部8の中心位置Pbを示す座標データに基づいて、撮影画面上における大円部7および小円部8の各中心位置Pa、Pb間を結ぶ直線と短軸bとのなす傾き角度βを計算にて求め、続いて、撮影画面上における大円部7の長軸寸法aからCCDカメラ5の視点から大円

部7の中心位置Paまでの距離dを求める。

【0066】すなわち、マーカ6の大円部7の実際の直径寸法をDとすると、CCDカメラ5の画角Aに対する撮影画面の寸法の関係から、撮影画面上における長軸寸法aの画角がわかるので、次式(11)のようにして、その距離dを求めることができる。

【0067】

【数4】

$$d = \frac{D \cdot \omega}{2 \cdot p \cdot \tan \cdot (A/2)} \quad \cdots \cdots (11)$$

ただし

D : マーカ大円部の直径寸法

p : 長軸aの撮影画面で上での寸法

ω : 撮影画像の縦(横)方向寸法

A : CCDカメラの縦(横)画角

【0068】次に、ステップS10に進み、姿勢計算部21において、以上のようにして求めた長軸寸法a、短軸寸法bおよび距離dの値に基づき、以下のようにして、CCDカメラ5の光軸と実際のマーカ6の面とのなす傾き角度θを計算すると共に、得られた角度θと前述のようにして求めた撮影画面上における大円部7、小円部8の各中心位置Pa、Pb間を結ぶ直線と短軸bとのなす傾き角度βとから長軸aと小円部8の中心点Pbとのなす実際の傾き角度φを求める。

【0069】図10は、図9のような撮影画面が得られている状態での、CCDカメラ5の視点Vとマーカ6の配置関係を示す図であり、マーカ6の面が撮影画面である投影面Sを斜めに横切った状態で示されている。マーカ6の大円部7の中心位置Paは投影面Sの面内に位置し、大円部7が投影面Sと横切る部分の線分が図9における大円部7に相当する楕円の長軸aとなっている。

【0070】まず、図中において、CCDカメラ5の視点Vと大円部7の中心位置Paを結ぶ直線つまり光軸と

マーカ6の面となす傾き角度θについて求める。この傾き角度θは、図11に示すように、図10の投影面Sを楕円の長軸a方向から見たときのマーカ6の面とCCDカメラ5とのなす傾き角度に等しいから、前述の式(11)のように計算された距離dと長軸寸法a、短軸寸法bから次のように計算することができる。

【0071】図11において、CCDカメラ5の視点Vとマーカ6の大円部7の上端と下端とをそれぞれ結んだときに投影面Sを横切る点をt1およびt2とすると、投影面Sの原点Oと点t1、点t2とをそれぞれ結ぶ線分r1、r2の長さ寸法を求めると、式(12)、(13)のようになる。そして、線分r1およびr2の和は、楕円の短軸寸法bに等しくなるので、これらの関係から、式(14)が成り立つようになる。したがって、式(14)をsinθについて解くと、2次方程式となるから、式(15)のようにその解を得ることができる。

【0072】

【数5】

$$r1 = \frac{d}{d + r \cdot \cos \theta} \cdot r \cdot \sin \theta \quad \cdots \cdots (12)$$

$$r2 = \frac{d}{d - r \cdot \cos \theta} \cdot r \cdot \sin \theta \quad \cdots \cdots (13)$$

ただし $r = \frac{a}{2}$ (a : 長軸寸法)

$$r1 + r2 = \frac{2 \cdot d^2 \cdot r \cdot \sin \theta}{d^2 - r^2 \cdot \cos^2 \theta} = b \quad \cdots \cdots (14)$$

$$\sin \theta = \frac{2 \cdot d^2 - \sqrt{4 \cdot d^4 - 4 \cdot d^2 \cdot b^2 + a^2 \cdot b^2}}{a \cdot b} \quad \cdots \cdots (15)$$

【0073】なお、線分 $r1$ および $r2$ を求めることにより、大円部7の正確な中心位置 Pa を求めることができる。すなわち、前述のように、重心計算により求められる大円部7の重心位置と実際の大円部7の中心位置が投影された中心位置 Pa との間に生じている誤差は、線分 $r1$ と $r2$ の長さが異なることから生ずるもので、重心計算により算出される重心位置 Pg に対して、実際の

$$\begin{aligned} \Delta &= \frac{r2 - r1}{2} \\ &= \frac{d \cdot \sin \theta \cdot \cos \theta}{\frac{2 - d^2}{a} - \cos^2 \theta} \quad \cdots \cdots (16) \end{aligned}$$

【0075】次に、長軸 a と小円部8の中心点 Pb とのなす実際の傾き角度 ϕ を、図12および図13を参照して求める。図12は、図11と同様にして投影面 S を楕円の長軸 a 方向から見た側面図であり、図13はCCDカメラ5の視点とマーカ6との位置関係を立体的に示したものである。これらの図中、点 u は実際のマーカ6の大円部7の中心点 Pa と小円部8の中心点 Pb とを結んだ直線が大円部7の周縁部と交差する点を示しており、点 ua は投影面 S 上に投影された点 u の位置を示している。

【0076】投影面 S 上において、点 ua から長軸 a お

中心位置 Pa は、式(16)で示すように、線分 $r1$ と $r2$ との差を2で割った誤差 Δ だけ重心位置から移動させた点となる。また、この誤差 Δ は、CCDカメラ5の視点がマーカ6から遠ざかる程、この誤差は少なくなる。

【0074】

【数6】

よび短軸 b までの距離 uv および uh の長さ寸法は、大円部7の半径 $r (= a/2)$ 、距離 d 、傾き角度 θ 、 ϕ を用いて表すと、それぞれ式(17)、(18)のようになる。前述の傾き角度 β は距離 uh および uv の関係から、 $\tan \beta$ として表すと、式(17)および(18)から式(19)のように導かれる。したがって、傾き角度 ϕ は、傾き角度 θ および β とを用いて式(20)のようになる。

【0077】

【数7】

$$uh = r \cdot \cos \phi \cdot \sin \theta \cdot \frac{d}{d + r \cdot \cos \phi \cdot \cos \theta} \quad \text{-----} \quad (17)$$

$$uv = r \cdot \sin \phi \cdot \frac{d}{d + r \cdot \cos \phi \cdot \cos \theta} \quad \text{-----} \quad (18)$$

$$\tan \beta = \frac{uh}{uv} = \frac{\sin \theta}{\tan \phi} \quad \text{-----} \quad (19)$$

$$\tan \phi = \frac{\sin \theta}{\tan \beta} \quad \text{-----} \quad (20)$$

【0078】以上の結果、マーカ6の位置姿勢を示すための各パラメータ d 、 α 、 θ 、 ϕ を求めることができる。

【0079】(f)座標変換行列計算処理ステップ(S11, S12)

次に、ステップS11に進むと、求めた各パラメータ d 、 α 、 θ および ϕ の値に基づいて、座標変換行列計算部12において、CCDカメラ5から見たマーカ6の位置姿勢を表す座標変換行列MARK

を式(21)のように求めるようになる。この場合、座標変換行列MARKは、式(22)に示すような4行4列のホモジニアス行列(座標変換を表す変換行列)である。

【0080】

【数8】

$$= \text{TRS}(0, d, 0) \cdot \text{ROT}(y, \alpha) \cdot \text{ROT}(x, \theta) \cdot \text{ROT}(z, \phi) \quad \text{-----} \quad (21)$$

$$\text{MARK} \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & z_1 & p_x \\ x_2 & y_2 & z_2 & p_y \\ x_3 & y_3 & z_3 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{-----} \quad (22)$$

(x_1, x_2, x_3): マーカ座標系x軸のx, y, z成分

(y_1, y_2, y_3): マーカ座標系y軸のx, y, z成分

(z_1, z_2, z_3): マーカ座標系z軸のx, y, z成分

(p_x, p_y, p_z): マーカ座標系原点のx, y, z成分

【0081】また、上述の座標変換行列MARKの各成分を示す座標変換行列TRS, ROTは、次式(23)ないし(26)のように定義されている。

【0082】

【数9】

TRS (x, y, z): 原点を (x, y, z) に平行移動する

ホモジニアス行列 (4 x 4)

$$\text{TRS} (x, y, z) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & x \\ 0 & 1 & 0 & y \\ 0 & 0 & 1 & z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{-----} \quad (23)$$

ROT (γ, ω): γ 軸廻りに ω [rad] 回転
を表すホモジニアス行列 (4 x 4)

$$\text{ROT} (x, \omega) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \omega & -\sin \omega & 0 \\ 0 & \sin \omega & \cos \omega & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{-----} \quad (24)$$

$$\text{ROT} (y, \omega) = \begin{bmatrix} \cos \omega & 0 & \sin \omega & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ -\sin \omega & 0 & \cos \omega & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{-----} \quad (25)$$

$$\text{ROT} (z, \omega) = \begin{bmatrix} \cos \omega & -\sin \omega & 0 & 0 \\ \sin \omega & \cos \omega & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \text{-----} \quad (26)$$

【0083】この後、ステップS12になると、データ出力部22から、座標変換行列MARKに基づいた位置姿勢信号が図示しないロボットハンド1の制御装置に出力されるようになる。

【0084】このような本実施例によれば、平面上に表示された大円部7および小円部8からなるマーカ6をCCDカメラ5により斜方向から撮影してCCDカメラ5の位置姿勢を計算するので、ロボットハンド1の作業環境に制限を与えることなく、しかも、この場合に、マーカ6を簡単な図形としているので、計算処理ステップを簡単にできると共に、その検出精度を向上させることができ、したがって、CCDカメラ5の位置姿勢を高速且つ高精度でロバストに認識することができるようになる。

【0085】また、本実施例によれば、重心計算部16により検出した撮影画面上における楕円形状をなす大円

部7の重心位置に対して、パラメータ計算部19においては、大円部7の中心位置Paに対応する位置を補正して求めるようにしたので、より正確な位置姿勢を認識することができるようになる。

【0086】図14ないし図16は本発明の第2ないし第4の実施例を示すもので、マーカ6に代えて、マーカ23, 24, 25を用いた場合について示したものである。すなわち、第2の実施例におけるマーカ23においては、大円部7に代えて円環状をなす大円部26を設けたものである。第3の実施例におけるマーカ24においては、指標部を表す小円部8に代えて、大円部27内に白色で示した小円部28を設けたものである。第4の実施例におけるマーカ25においては、第2の実施例で用いた大円部26に指標部としての矢印状をなす黒色の指標29を貫通させるように表示したものである。

【0087】そして、このような第2ないし第4の実施

例においても、前記第1の実施例と全く同様にしてマーカ23, 24, 25の位置姿勢を認識することができるものである。

【0088】なお、上記各実施例においては、マーカ6, 23, 24, 25を、白地に黒色で円形部および指標部を表示したものについて述べたが、これに限らず、例えば、黒地に白色で表示する構成としても良い。また、同様に、異なる色を用いて表示したマーカを用いることもできる。なお、この場合には、カラー撮影可能なCCDカメラを用いると共に、前処理計算部にてカラー信号を二値化するように構成すれば良い。

【0089】そして、上記各実施例においては、本発明を自律移動ロボットの三次元位置認識装置に適用した場合について説明したが、ロボット自身は固定された状態とされ、作業対象がロボットの近傍に移動してくる構成の三次元位置認識装置等に適用することもできるものである。

$$f(x, y) = x^2 + 2hxy + by^2 + 2gx + 2fy + c = 0 \quad \text{..... (a)}$$

$$(n_1, n_2, n_3, \dots, n_N) \quad \text{..... (b)}$$

【0093】このとき、最小二乗推定を行う場合の評価関数Jを、次式(c)を用いると、パラメータh, b, g, f, cを求めるためには、各パラメータで偏微分した結果が全て“0”となれば良いから、次式(d)ない

$$J = \sum_{i=1}^N (x_i^2 + 2hx_iy_i + by_i^2 + 2gx_i + 2fy_i + c)^2 \quad \text{..... (c)}$$

$$\frac{\partial J}{\partial h} = 4 \sum_{i=1}^N r_i x_i y_i = 0 \quad \text{..... (d)}$$

$$\frac{\partial J}{\partial b} = 2 \sum_{i=1}^N r_i y_i^2 = 0 \quad \text{..... (e)}$$

$$\frac{\partial J}{\partial g} = 4 \sum_{i=1}^N r_i x_i = 0 \quad \text{..... (f)}$$

$$\frac{\partial J}{\partial f} = 4 \sum_{i=1}^N r_i y_i = 0 \quad \text{..... (g)}$$

$$\frac{\partial J}{\partial c} = 2 \sum_{i=1}^N r_i = 0 \quad \text{..... (h)}$$

$$\text{ただし } r_i = x_i^2 + 2hx_iy_i + by_i^2 + 2gx_i + 2fy_i + c$$

【0095】これを5個のパラメータからなるベクトルPを用いて行列で表現すると、式(i)のようになる。したがって、この式(i)からベクトルPを求めると、式(j)のように求めることができ、これから各パラメ

【0090】(付録) 最小二乗推定法による楕円近似計算の説明

前述のプログラムのステップS7にて実行される、最小二乗推定法による楕円近似計算の説明をする。なお、計算の手順については、電子情報通信学会技術研究報告【画像工学】IE88-108, P9-16に掲載された『デジタル点群の2次曲線による近似について』(滝山竜三, 小野直樹)を参照している。

【0091】まず、近似すべき楕円の方程式を表すために、式(a)で示すような一般的な2次曲線の方程式f(x, y)を考えると、決定すべきパラメータはh, b, g, f, cとなる。そして、このような2次曲線の方程式に対して、N個の抽出されたエッジデータの座標データを表す座標点列が式(b)のように与えられているとする。

【0092】

【数10】

し(h)を満たすように連立方程式を解けば良い。

【0094】

【数11】

ータh, b, g, f, cを得ることができる。

【0096】

【数12】

$$\begin{bmatrix} 2\sum x_i^2 y_i^2 & \sum x_i y_i^3 & 2\sum x_i^2 y_i & 2\sum x_i y_i^2 & \sum x_i y_i \\ 2\sum x_i y_i^3 & \sum y_i^4 & 2\sum x_i y_i^2 & 2\sum y_i^3 & \sum y_i^2 \\ 2\sum x_i^2 y_i & \sum x_i y_i^2 & 2\sum x_i^2 & 2\sum x_i y_i & \sum x_i \\ 2\sum x_i y_i^2 & \sum y_i^3 & 2\sum x_i y_i & 2\sum y_i^2 & \sum y_i \\ 2\sum x_i y_i & \sum y_i^2 & 2\sum x_i & 2\sum y_i & N \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h \\ b \\ g \\ f \\ c \end{bmatrix} = - \begin{bmatrix} \sum x_i^3 y_i \\ \sum x_i^2 y_i^2 \\ \sum x_i^3 \\ \sum x_i^2 y_i \\ \sum x_i^2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{matrix} H \\ P \end{matrix} = \begin{matrix} B \\ B \end{matrix} \quad \text{----- (i)}$$

$$P = H^{-1} B$$

$$\text{----- (j)}$$

【0097】ここで、 $D\theta$ および D を次式(k)のよう
におくと、式(a)で示す方程式 $f(x, y)$ が楕円と
なる条件は、式(m)であるから、楕円の中心点 $P(x_1, y_1)$ の座標データは、それぞれ式(n)のように
表される。

【0098】

【数13】

$$D\theta = \begin{vmatrix} 1 & h \\ h & b \end{vmatrix} \quad D = \begin{vmatrix} 1 & h & g \\ h & b & f \\ g & f & c \end{vmatrix} \quad \text{----- (k)}$$

$$D\theta > 0, \quad D \neq 0 \quad \text{----- (m)}$$

$$x_1 = \frac{hf - bg}{D\theta}, \quad y_1 = \frac{hg - f}{D\theta} \quad \text{----- (n)}$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \tan^{-1} \left(\frac{2h}{1-b} \right)$$

$$Ax^2 + By^2 + C = 0$$

$$C = D\theta \cdot D$$

$$t^2 - (a+b)t + ab - h^2 = 0$$

【0101】この結果、得られた A, B, C の値によ
り、楕円の長軸 a および短軸 b はそれぞれ次式(r)お
よび(s)のように求めることができるようになり、こ
れらにより、マーカ6の大円部7の長軸寸法 a 、短軸寸
法 b および軸の傾き角度 α を求めることができるのであ
る。

【0102】

【数15】

$$a = \max \left(2\sqrt{-\frac{C}{A}}, 2\sqrt{-\frac{C}{B}} \right)$$

$$b = \min \left(2\sqrt{-\frac{C}{A}}, 2\sqrt{-\frac{C}{B}} \right) \quad \text{----- (r)}$$

【0103】

【発明の効果】以上説明したように、請求項1記載の視
覚に基く三次元位置および姿勢の認識方法によれば、平

【0099】また、楕円の傾き角度 α を、 $0 < \theta < 90$
°に制限すると、式(o)のように表すことができ
るから、この楕円についてその中心点 $P(x_1, y_1)$ を原
点に移動させ、且つ角度 α の傾きを角度0に変換する
と、式(p)のように表すことができる。したがって、
このときの係数 A, B は式(q)で示される2次方程式
の根として求めることができる。このとき、 $h > 0$ であ
るときには、根の大きい方を A とし、 $h < 0$ であるとき
には、根の小さい方を A として選ばば良い。

【0100】

【数14】

$$\text{----- (o)}$$

$$\text{----- (p)}$$

$$\text{----- (q)}$$

面上に表示された円形部および指標部からなるマーカを
用い、このマーカに対して三次元空間の斜方向に位置す
る撮像手段により撮影して各処理ステップを実行するこ
とにより、マーカの画像データを二値化されたデジタル
画像データに変換してその円形部の中心位置を計算し、
中心位置判定処理ステップにおいて、マーカの円形部の
中心位置に対する中心間距離を計算して設定誤差値以内
であるか否かが判定し、その中心間距離が設定誤差値よ
りも大きいときに、設定誤差値以内となるように撮像手
段の撮像姿勢を変更させ、中心間距離が設定誤差値以内
にはいると、最小二乗推定法により円形部の輪郭抽出点
の楕円近似計算を行うと共にその円形部とマーカの指標
部との傾き角度の計算によりマーカに対する撮像手段の
位置姿勢を示す各種パラメータを計算し、座標変換行列
を求めることで、撮像手段の三次元位置および姿勢を認
識するようにしたので、マーカの円形部および指標部に

対する簡単な計算処理を実行することで、高速且つ高精度で認識できると共に、ロバストな処理結果を得ることができるという優れた効果を奏する。

【0104】また、請求項2記載の視覚に基く三次元位置および姿勢の認識装置によれば、上述のマークを利用すると共に、上述の各処理ステップを実行する手段を設けて構成したので、マークの円形部および指標部に対する簡単な計算処理を実行することで、高速且つ高精度で撮像手段の三次元位置および姿勢を認識できると共に、ロバストな処理結果を得ることができるという優れた効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例を示す全体のブロック構成図

【図2】ロボットハンドとマークとの関係を示す図

【図3】マークの平面図

【図4】認識プログラムの概略的なフローチャート

【図5】(a)マークの撮影画面

(b)マークの撮影画面とCCDカメラの視点との位置関係を示す図

【図6】中心位置補正処理におけるCCDカメラの姿勢制御の説明図

【図7】マーク撮影画面からエッジデータを抽出するときの走査ラインの説明図

【図8】エッジデータ抽出プログラムのフローチャート

【図9】中心位置補正処理後のマークの撮影画面

【図10】CCDカメラの視点とマークの撮影画面および実際のマークの配置状態との関係を説明する図

【図11】単軸寸法計算のための撮影画面を大円部長軸方向から見た作用説明図

【図12】マークの傾き計算のための図11相当図

【図13】撮影画面の横方向を円形部の長軸方向と一致させた状態で示す図10相当図

【図14】本発明の第2の実施例を示す図3相当図

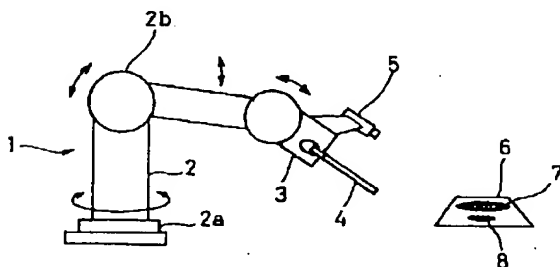
【図15】本発明の第3の実施例を示す図3相当図

【図16】本発明の第4の実施例を示す図3相当図

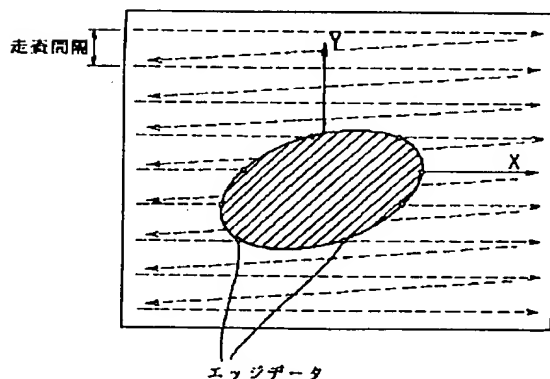
【符号の説明】

1はロボットハンド、2はアーム部、3はヘッド部、4はマニピュレータ、5はCCDカメラ（撮像手段）、6はマーク、7は大円部（円形部）、8は小円部（指標部）、9は三次元位置認識装置、10は画像処理部、11は位置姿勢計算部（位置姿勢計算手段）、12は座標変換行列計算部（座標変換行列計算手段）、13は中心位置補正部（中心位置補正手段）、14はメモリ（記憶手段）、15は前処理計算部（前処理計算手段）、16は重心計算部（中心位置計算手段）、17は中心位置判定部（中心位置判定手段）、18は楕円近似計算部、19はパラメータ計算部、20は位置計算部、21は姿勢計算部、22はデータ出力部、23、24、25はマーク、26、27は大円部（円形部）、28は小円部（指標部）、29は指標（指標部）である。

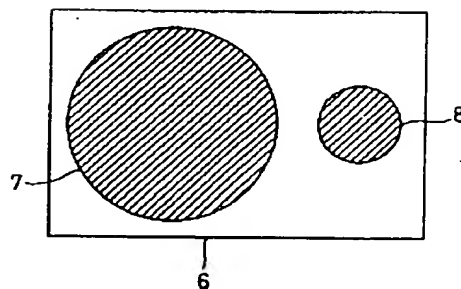
【図2】



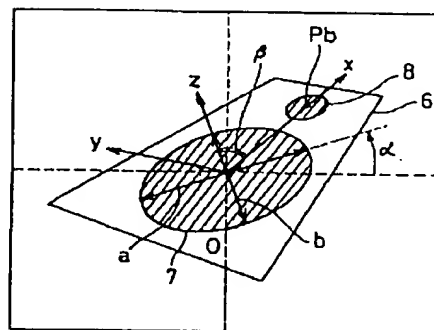
【図7】



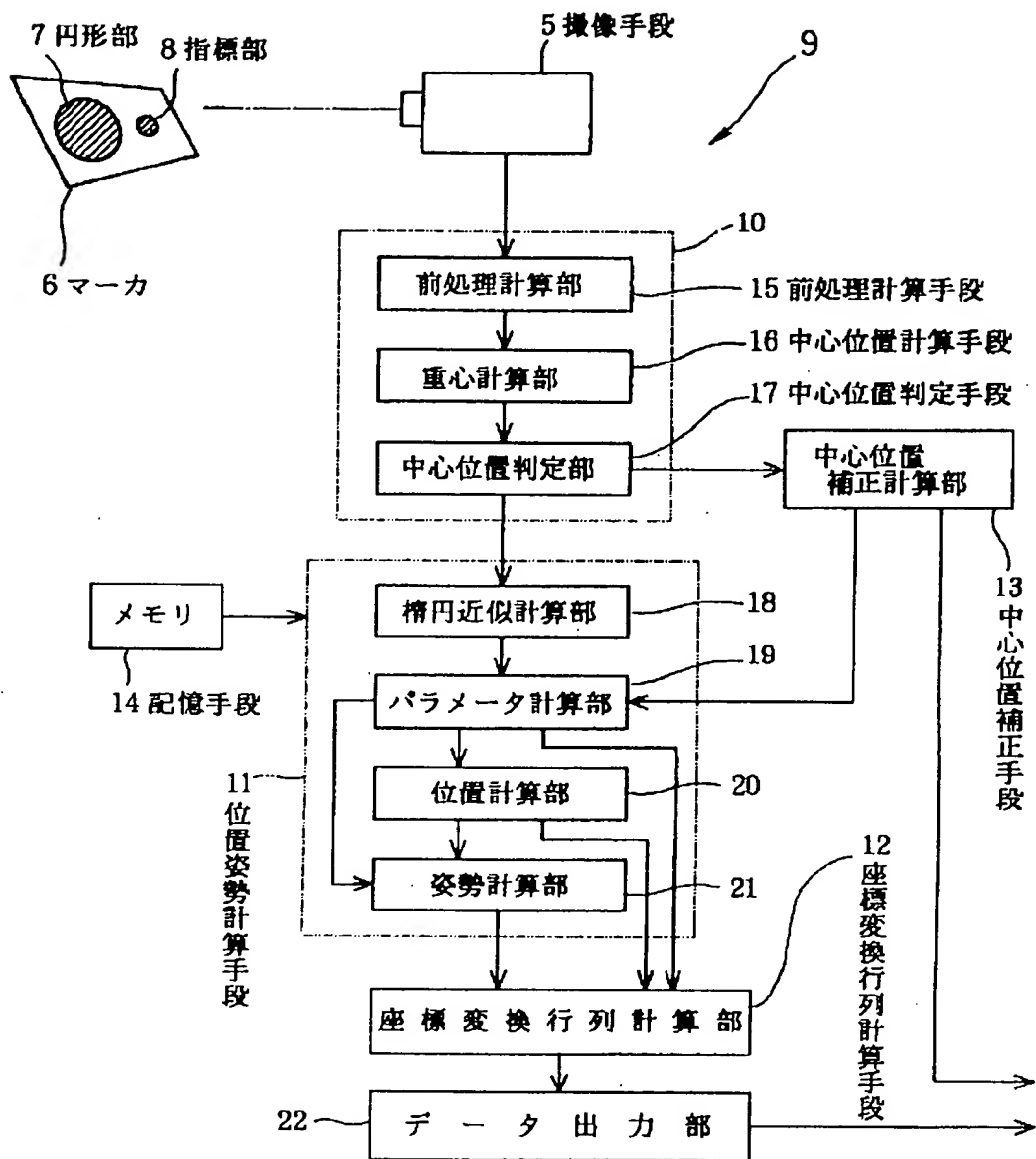
【図3】



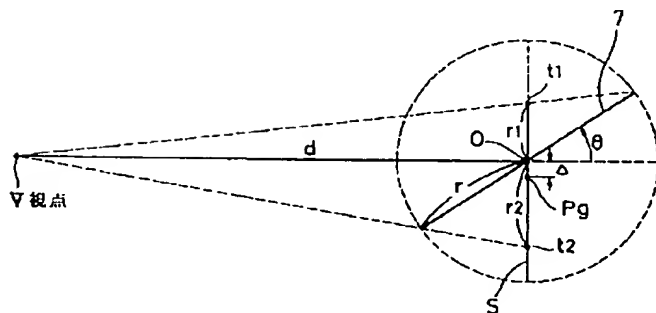
【図9】



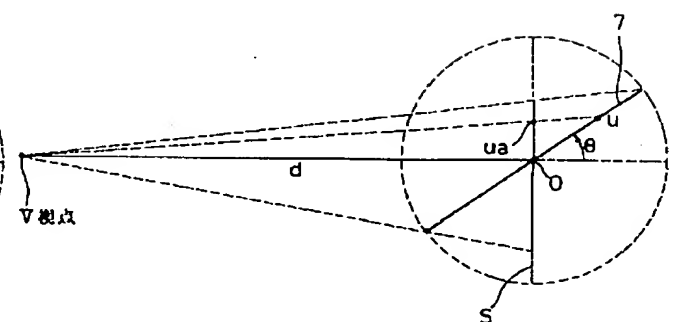
【図1】



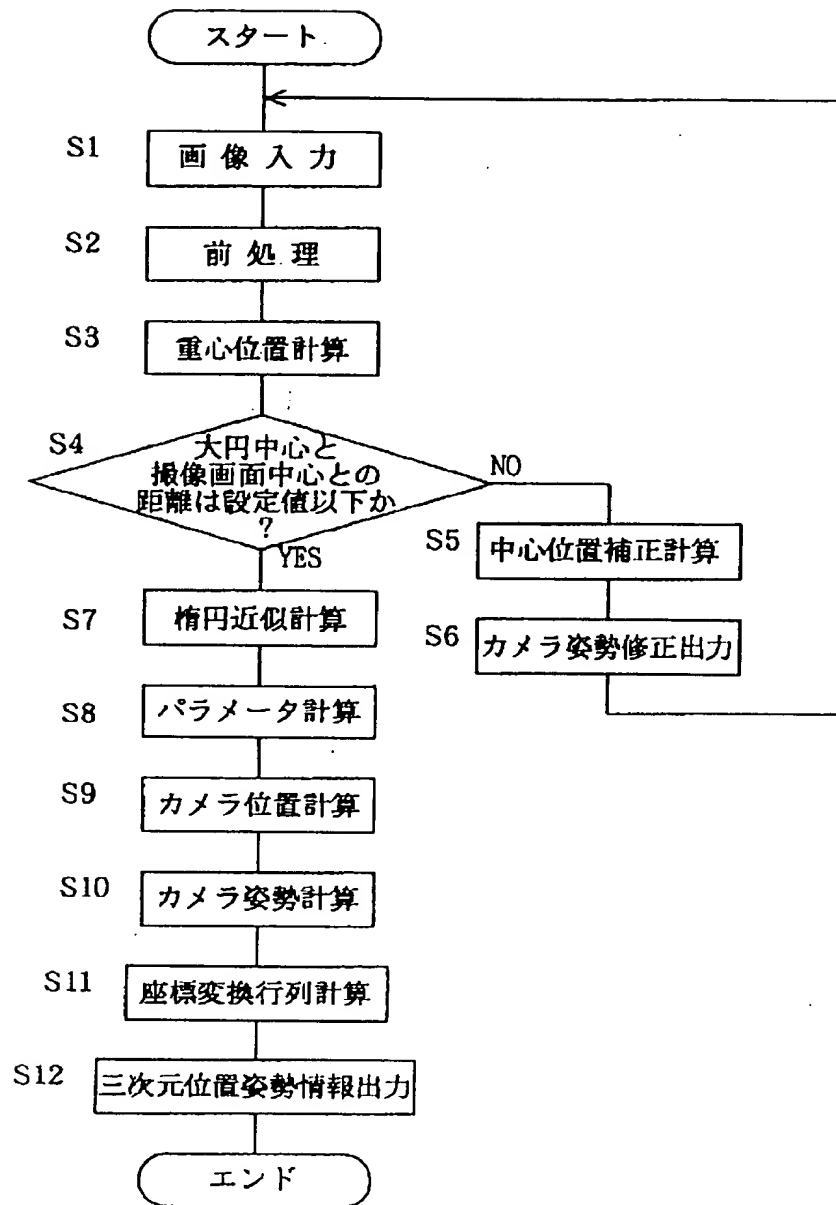
【図11】



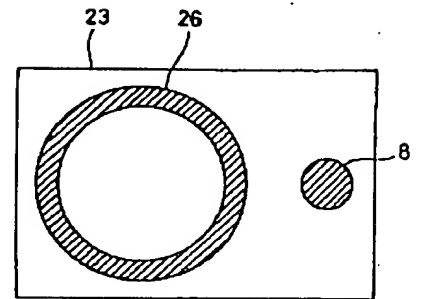
【図12】



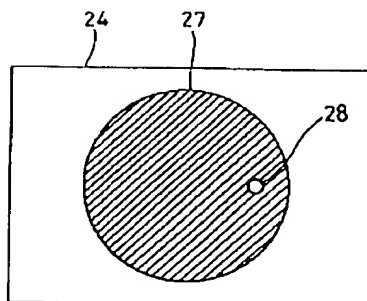
【図 4】



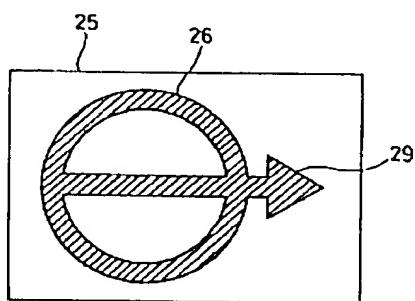
【図 14】



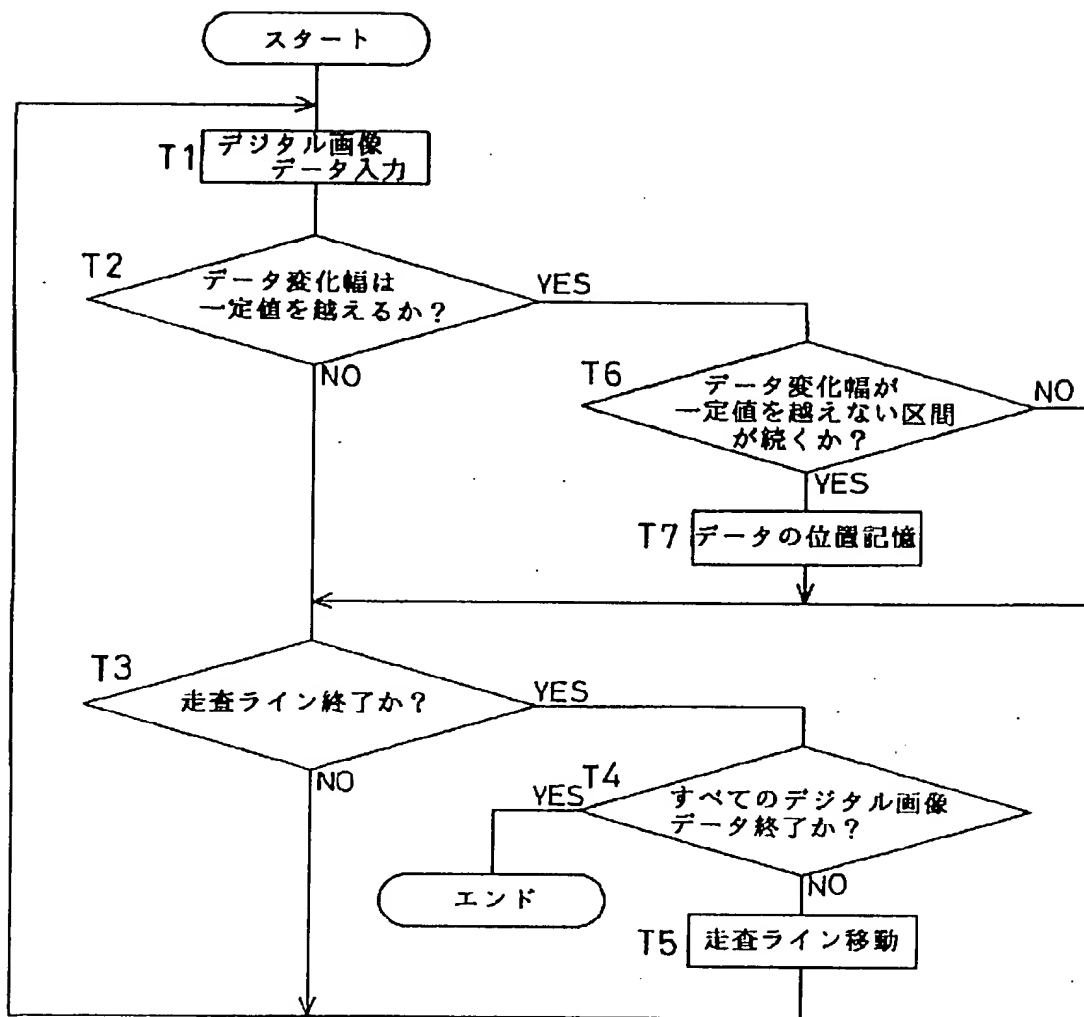
【図 15】



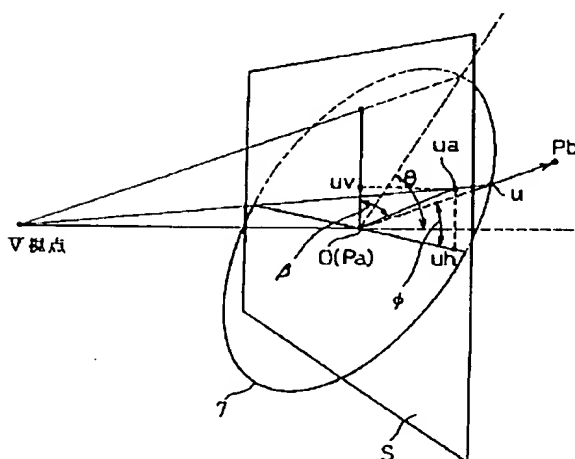
【図 16】



【図 8】



【図 13】



【手続補正書】

【提出日】平成5年10月14日

【補正内容】

【手続補正1】

【0055】

【補正対象書類名】明細書

【数3】

【補正対象項目名】0055

【補正方法】変更

$$T_{o/p} = \begin{bmatrix} \frac{1 + \tan^2 D2}{AB} & \frac{\tan D1}{A} & 0 & 0 \\ \frac{-\tan D1}{AB} & \frac{1}{A} & \frac{-\tan D2}{B} & 0 \\ \frac{-\tan D1 \tan D2}{AB} & \frac{\tan D2}{A} & \frac{1}{B} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \dots (10)$$

$$\text{ただし } A = \sqrt{1 + \tan^2 D1 + \tan^2 D2}$$

$$B = \sqrt{1 + \tan^2 D2}$$

【手続補正2】

【補正内容】

【補正対象書類名】明細書

【0080】

【補正対象項目名】0080

【数8】

【補正方法】変更

MARK

$$= \text{TRS} (0, d, 0) \cdot \text{ROT} (y, \alpha) \cdot \text{ROT} (x, \theta) \cdot \text{ROT} (z, \phi) \quad \dots (21)$$

$$\text{MARK} = \begin{pmatrix} x_1 & y_1 & z_1 & p_x \\ x_2 & y_2 & z_2 & p_y \\ x_3 & y_3 & z_3 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \dots (22)$$

(x₁, x₂, x₃) : マーカ座標系 x 軸の x, y, z 成分(y₁, y₂, y₃) : マーカ座標系 y 軸の x, y, z 成分(z₁, z₂, z₃) : マーカ座標系 z 軸の x, y, z 成分(p_x, p_y, p_z) : マーカ座標系原点の x, y, z 成分

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☒ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☒ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.